

УДК 621.923

А.А. ГОРБАЧЁВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАНЕТАРНОГО ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ ПЛОСКИХ И ПЛОСКО ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сформулирована проблема необходимости разработки новой технологии обработки плоских и плоско фасонных поверхностей деталей авиационных двигателей из трудно обрабатываемых материалов. Получена новая технология обработки плоских и плоско фасонных поверхностей деталей авиационных двигателей при помощи планетарной шлифовальной головки, позволяющая более эффективно и с меньшими трудозатратами вести обработку трудно обрабатываемых материалов. Разработан технологический процесс обработки плоских и плоско фасонных поверхностей на примере лопатки первой ступени турбины ТРДД Д-36. Произведено экономическое сравнение двух вариантов обработки.

Ключевые слова: *глубинное шлифование, технологический процесс, планетарное глубинное шлифование, экономический эффект, труднообрабатываемые материалы.*

Введение

Рост количества шлифовальных операций при производстве лопаток ГТД на таких авиадвигательных предприятиях как ОАО «Мотор-Сич», ММП «Салют», ОАО «Рыбинские Моторы» ставит задачу совершенствования метода глубинного шлифования плоских поверхностей [1].

С появлением нового способа обработки плоских и плоско фасонных поверхностей [2, 3] возникает вопрос о разработке нового технологического процесса обработки с применением планетарной шлифовальной головки.

Таким образом, исследования, посвященные разработке и экономическому обоснованию способа планетарного глубинного шлифования плоских и плоско фасонных поверхностей, являются актуальными и заслуживают внимания.

1. Формулирование проблемы

Рабочая лопатка первой ступени турбины ввиду особенностей своей конструкции, материала, заданных точности обработки и шероховатости поверхностей является достаточно трудоемкой в изготовлении.

Для получения лопаток разработаны типовые технологические процессы, в которых применены эффективные методы обработки. Но эти методы требуют применения очень дорогостоящего оборудования с ЧПУ, высокопористых кругов и СОЖ с добавками ПАВ. Основной задачей является разра-

ботка новой технологии повышающей эффективность обработки без применения дорогостоящего оборудования и СОЖ.

2. Решение проблемы

В базовом технологическом процессе основными этапами при обработке рабочей лопатки первой ступени турбины ТРДД Д-36 (данные ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье) являются:

заготовительный этап – высокоскоростная направленная кристаллизация (операция 005);
обработка баз (операции 010 – 025);
формообразующая обработка замка (операции 030 – 040, 085, 100, 105);
формообразующая обработка полки (операции 065 – 080, 100, 105);
формообразующая обработка пера (операции 120 – 130, 145, 165, 190);
термическая обработка лопатки (операция 175);
окончательный контроль (операции 140, 150, 170, 205).

Механическая обработка лопатки производится с помощью высокопроизводительных шлифовальных станков с ЧПУ ЛШ-220 и ЛШ-233, токарных станков с ЧПУ АТПр-800Н, плоскошлифовальных станков ЗГ71, фрезерных станков 6А463 и радиально-сверлильного станка 2М55. Перо лопатки проходит ленточно-шлифовальную обработку на станках Metabo, окончательная обработка профиля пера осуществляется полированием.

В качестве практического применения иссле-

дуемого способа шлифования, предлагается заменить операции глубинного шлифования на операции планетарного глубинного шлифования при изготовлении лопаток ТВД.

Основные формообразующие операции при обработке лопатки 1-й ступени турбины ТРДД Д-36 (рисунок 1), выполняемые глубинным шлифованием, приведены на рисунке 2.

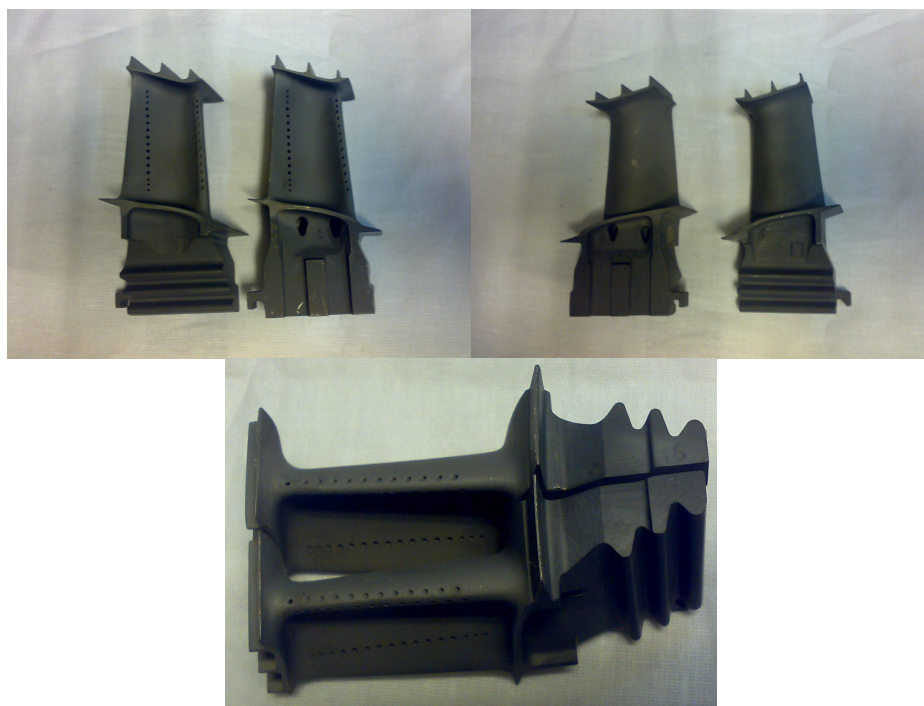


Рис. 1. Лопатки 1-й ступени турбины ТРДД Д-36

В базовом варианте обработка замка лопатки ведется на специализированных двухшпиндельных станках с ЧПУ для плоскопрофильного шлифования модели ЛШ-233. Схема глубинного шлифования, реализованная на станках Липецкого станкостроительного завода, позволяет повысить эффективность процесса в связи с ведением непрерывной правки шлифовального круга алмазными прецизионными роликами и расширить область использования нового метода для получения профиля любой сложности и с высокой степенью точности. Шлифование осуществляется за 2-4 прохода. Режущим инструментом являются высокопористые круги СМ и М твердости, которые работают в режиме самозатачивания.

Вывод: в предлагаемом варианте специализированные станки заменены на универсальные плоскошлифовальные станки 3Е711, оснащенные планетарными шлифовальными головками. Высокопористые круги заменены кругами со средней структурой, СТ и Т твердости. Правка происходит через определенные промежутки времени в зависимости от интенсивности обработки. Дорогостоящий водный раствор эмульсола «Аквол-2» заменен на 5%-ный водный раствор Na_2CO_3 («содовую воду»). Выбор режимов резания осуществляется по рекомендациям, представленным в данной работе.

Теперь приведём сравнение технологической себестоимости базового и нового технологического процесса обработки лопатки первой ступени турбины двигателя Д-36, проведена оценка экономической эффективности от внедрения нового варианта ТП. В калькуляцию включены только те затраты, которые отличаются в сравниваемых вариантах [4]. Расчет ведется по интенсифицированным операциям 025 и 030. Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

Интенсифицированные операции довольно сильно отличаются от базовых. В новом варианте специализированные плоскошлифовальные станки ЛШ-233 были заменены на универсальные плоскошлифовальные 3Е711, которые оснащались планетарной шлифовальной головкой. В новом варианте отпала необходимость в использовании высокоструктурных шлифовальных кругов зарубежного производства, вместо них применялись круги отечественного производства обычной структуры.

Вспомогательный режущий инструмент в новом варианте, за счет применения рациональных режимов правки, рассчитан на всю программу выпуска, хотя по стоимости не отличается от базового.

Затраты на вспомогательные материалы снижены за счет замены дорогостоящей СОЖ Аквол-2 на раствор соды (Na_2CO_3).

Трудоемкость наладки снижена за счет сокращения частоты ее проведения.

Также снижена энергоемкость процесса за счет применения станков пониженной мощности.

В новом варианте, за счет применения интенсивных режимов обработки, снижено время операций.

Проведем сравнение обработки замка лопатки по базовому и по новому варианту для операций 25 и 30 обработки замка (таблица 1).

Расчет будем проводить по переменным пока-

зателям технологической себестоимости:

$$CN_{\text{тех}} = C_{\text{зп}} + C_{\text{эн}} + A_{\text{об}} + P_{\text{об}} + И, \quad (1)$$

где $C_{\text{зп}}$ – заработная плата производственных рабочих на единицу изделия, грн.; $C_{\text{эн}}$ – затраты на электроэнергию и энергоносители на единицу изделия, грн.; $A_{\text{об}}$ – амортизационные отчисления от стоимости оборудования на единицу изделия, грн.; $P_{\text{об}}$ – затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования в расчете на единицу изделия, грн.; $И$ – затраты на инструмент (режущий и вспомогательный) в расчете на единицу изделия, грн.

Таблица 1

Исходные данные к расчету технологической себестоимости

Показатель	Размерность	Базовый вариант ТП		Новый вариант ТП	
		номер операции			
		025	030	025	030
Оборудование		ЛШ-233	ЛШ-233	ЗЕ711	ЗЕ711
Стоимость	тыс. грн.	200	200	80,5	80,5
Мощность привода	кВт	20	20	5	5
Годовой фонд времени	ч	3915			
Время на операцию	мин.	1,52	1,76	0,38	0,5
Разряд работ	–	4			
Часовая ставка	грн.	1,67			
Стоимость РИ	грн.	500	500	28	28
Стойкость РИ	изд.	170	150	800	650
Стоимость вспомогательного РИ	грн.	1000			
Стойкость вспомогательного РИ	изд.	1700	1500	вся программа выпуска	
Количество наладок	1/изд.	170	150	800	650
Трудоемкость наладки	мин.	12		16	
Часовая ставка наладчика	грн.	2,5			

Таблица 2

Результаты сравнения технологической себестоимости

№ оп.	Базовый вариант ТП					Новый вариант ТП				
	$C_{\text{зп}}$	$C_{\text{эн}}$	$A_{\text{об}}$	$P_{\text{об}}$	$И$	$C_{\text{зп}}$	$C_{\text{эн}}$	$A_{\text{об}}$	$P_{\text{об}}$	$И$
025	40,36	0,73	103,6	28,4	3,53	48,9	0,23	50,2	13,9	$0,035 + \frac{1000}{N}$
030	41,08	0,74	105,4	28,9	4,00	49,25	0,24	50,9	14,0	$0,043 + \frac{1000}{N}$
Σ	83,44	1,47	209,0	57,3	7,53	98,15	0,47	101,1	27,9	$0,078 + \frac{2000}{N}$

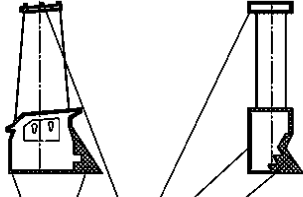
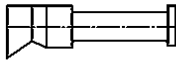

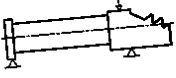
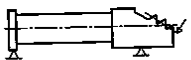
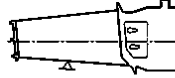
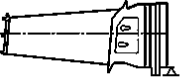
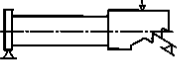
<p>5. Заготовительная</p>  <p>Припуск на механическую обработку</p>	<p>15. Шлифование базовой плоскости</p> <p>Б: $t=1\text{мм}; S=100\text{мм/мин}$ $t=0,2\text{мм}; S=150\text{мм/мин}$</p>  <p>Н: $t=1,2\text{мм}; S=1080\text{мм/мин}$</p>
<p>25. Шлифование скоса</p> <p>Б: $t=3,8\text{мм}; S=100\text{мм/мин}$ $t=0,2\text{мм}; S=200\text{мм/мин}$</p>  <p>Н: $t=4\text{мм}; S=135\text{мм/мин}$</p>	<p>30. Шлифование профиля замка</p> <p>Б: $t=3\text{мм}; S=100\text{мм/мин}$ $t=0,2\text{мм}; S=150\text{мм/мин}$ $t=0,05\text{мм}; S=200\text{мм/мин}$</p>  <p>Н: $t=3,8\text{мм}; S=270\text{мм/мин}$</p>
<p>40. Шлифование полок</p> <p>Б: $t=1\text{мм}; S=100\text{ мм/мин}$</p>  <p>Н: $t=1\text{мм}; S=1080\text{мм/мин}$</p>	<p>45. Шлифование торца</p> <p>Б: $t=2\text{мм}; S=100\text{мм/мин}$</p>  <p>Н: $t=2\text{мм}; S=540\text{мм/мин}$</p>
<p>50. Шлифование торца</p> <p>Б: $t=1\text{мм}; S=100\text{мм/мин}$</p>  <p>Н: $t=1\text{мм}; S=540\text{мм/мин}$</p>	<p>80. Шлифование полки</p> <p>Б: $t=0,85\text{мм}; S=100\text{мм/мин}$</p>  <p>Н: $t=0,85\text{мм}; S=1240\text{мм/мин}$</p>
<p>Примечание: Б - режимы обработки по базовому варианту Н - режимы обработки по новому варианту</p>	

Рис. 2. Основные формообразующие операции при обработке лопатки, выполняемые глубинным шлифованием

Заработная плата вычисляется по формуле:

$$C_{\text{зн}} = lt(1 + \omega_{\text{д}})(1 + \omega_{\text{н}}), \quad (2)$$

где l – часовая ставка, грн.; t – трудоемкость единицы работы, чел.-ч.; $\omega_{\text{д}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,3); $\omega_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий отчисления в фонд пенсионного страхования, занятости и социального страхования (принимается равным 0,375).

$$C_{\text{зн}} = t\Pi_{\text{зн}}K_{\text{м}}K_{\text{вр}}, \quad (3)$$

где t – время на операцию, станк.-ч.; $\Pi_{\text{зн}}$ – стоимость

электроэнергии, грн./кВт-ч.; $K_{\text{м}}$ – коэффициент использования электродвигателей по мощности; $K_{\text{вр}}$ – коэффициент использования электродвигателей по времени, характеризует долю работы электродвигателей в штучном времени.

$$A_{\text{об}} = \frac{\sum \Pi_{\text{об}}}{\Phi_{\text{д}}} t \frac{N_{\text{а}}}{100}, \quad (4)$$

где $\Phi_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч.; $N_{\text{а}}$ – норма амортизационных отчислений, %; $\Pi_{\text{об}}$ – стоимость оборудования

(с учетом транспортно-заготовительных расходов и затрат на монтаж приблизительно 3...5%), грн; t – трудоемкость единицы работы, станко-ч:

$$P_{об} = \frac{P_{год}}{\Phi_d K_3} t, \quad (5)$$

где $P_{год}$ – годовые затраты на ремонт при полной загрузке оборудования, принимается 3...4 % от стоимости оборудования; K_3 – общий коэффициент загрузки за год (принимается 0,8...0,9).

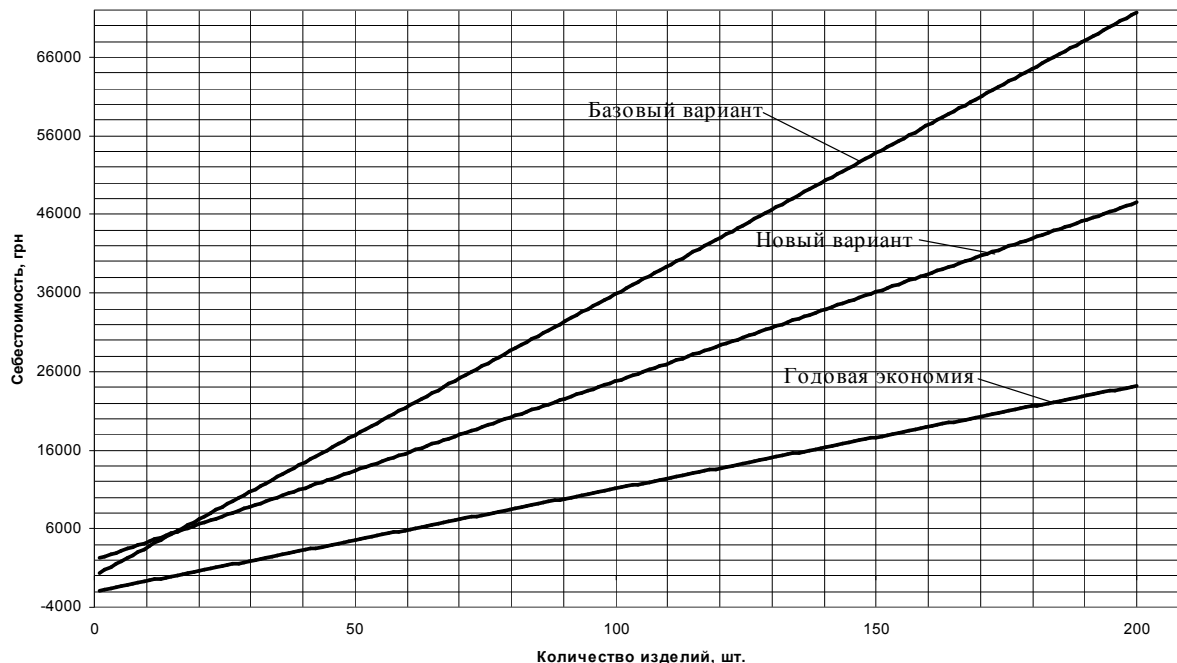


Рис. 3. Технологическая себестоимость и годовая экономия, достигнутые при обработке турбинной лопатки 1-ой ступени двигателя Д-36

Затраты на вспомогательный и режущий инструмент:

$$И = \frac{Ц_{ин}}{m} + \frac{Ц_{всп}}{n}, \quad (6)$$

где $Ц_{ин}$ – первоначальная стоимость инструмента; $Ц_{всп}$ – первоначальная стоимость вспомогательного инструмента; m – стойкость инструмента до полного износа; n – стойкость вспомогательного инструмента до полного износа.

Годовую экономию найдем по формуле:

$$\mathcal{E}_{себ}^N = \Delta C_{пер.уд} \cdot N + \Delta C_{пост.} \quad (7)$$

Результаты сравнения технологической особенности выполнения операций 25 и 30 по базовому и новому вариантам приведены в таблице 2. Таким образом, получаем технологические себестоимости выполнения операций по базовому и предлагаемому варианту в зависимости от программы выпуска:

$$C_{тех}^{N_6} = 358,74N;$$

$$C_{тех}^{N_H} = 227,69N + 2000;$$

$$\mathcal{E}_{себ}^N = 131,05N - 2000.$$

Графическое отображение полученных зависимостей представлено на рисунке 3.

Экономический эффект от внедрения нового

технологического процесса начнет проявляться после выпуска $N_{кр}$ изделий:

$$N_{кр} = \frac{C_{пост}^H - C_{пост}^6}{C_{тех.уд}^6 - C_{тех.уд}^H} = \frac{2000 - 0}{358,74 - 227,69} = \frac{2000}{131,05} \approx 16$$

Заключение

В предлагаемом варианте специализированные станки заменены на универсальные плоскошлифовальные станки 3Е711, оснащенные планетарными шлифовальными головками. Высокопористые круги заменены кругами со средней структурой, СТ и Т твердости. Правка происходит через определенные промежутки времени в зависимости от интенсивности обработки. Дорогостоящий водный раствор эмульсола «Аквол-2» заменен на 5%-ный водный раствор Na_2CO_3 («содовую воду»). Выбор режимов резания осуществляется по рекомендациям, представленным в данной работе.

Экономический эффект от внедрения нового технологического процесса начнет проявляться после выпуска 16 изделий.

Литература

1. Крымов, В.В. Производство лопаток газотурбинных двигателей [Текст] / В.В. Крымов, Ю.С. Елисеев, К.И. Зудин; под ред. В.В. Крымова. – М.: Машиностроение: Машиностроение-Полет, 2002. – 376 с.

2. Пат. 78872 Украина, В 24 В 1/100. Способ планетарного шлифования / Горбачев А.А., Сурду Н.В., Долматов А.И., Телегин А.В.; заявитель и патентообладатель Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский Авиационный Институт». – № а 2005 04196; заявл.

04.05.05; опубл. 25.04.07, Бюл. № 5.

3. Пат. 91409 Украина, В 24 В 1/100. Устройство и способ планетарного шлифования плоских поверхностей / Куцин М.А., Долматов А.И., Горбачёв А.Ф., Горбачёв А.А.; заявитель и патентообладатель Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский Авиационный Институт». – № а 2008 11417; заявл. 22.09.08; опубл. 26.07.10, Бюл. № 14.

4. Куцин, М.А. Начало переходной экономики [Текст] / Куцин М.А., В.Ф. Зенковский // От плана – к рынку. – Х.: Прапор, 2000. – Т.1. – 584 с.

Поступила в редакцию 30.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Я. Мовшович, Харьковский НИИ технологий машиностроения, Харьков, Украина..

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАНЕТАРНОГО ГЛИБИННОГО ШЛІФУВАННЯ ПЛОСКИХ І ПЛОСКО ФАСОННИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

О.О. Горбачов

Сформульовано проблема необхідності розробки нової технології обробки плоских і плоско фасонних поверхонь деталей авіаційних двигунів із важко оброблюваних матеріалів. Отримано нова технологія обробки плоских і плоско фасонних поверхонь деталей авіаційних двигунів за допомогою планетарної шліфувальної головки, що дозволяє більш ефективно і з меншими трудовитратами вести обробку важко оброблюваних матеріалів. Розроблено технологічний процес обробки плоских і плоско фасонних поверхонь на прикладі лопатки першого ступеня турбіни ТРДД Д-36. Вироблено економічне порівняння двох варіантів обробки.

Ключові слова: глибинне шліфування, технологічний процес, планетарне глибинне шліфування, економічний ефект, важкооброблювані матеріали.

EFFICIENCY OF PLANETARY DEEP GRINDING FLAT AND FLAT SHAPED SURFACE OF AIRCRAFT ENGINE PARTS DIFFICULT TO CUT MATERIALS

A.A. Gorbachov

We formulate the problem of the need to develop new processing technologies and flat planar shaped surfaces of aircraft engine parts from difficult to cut materials. A new processing technology and flat planar shaped surfaces of aircraft engine parts using a planetary grinding head that allows you to more efficiently and with less effort to process difficult to cut materials. The technological process of machining flat and planar surfaces shaped by the example of first stage turbine blade turbofan engines D-36. Produced economic comparison of two treatment options.

Key words: deep grinding, technological process, the planetary deep grinding, economic effect, difficult to machine materials

Горбачев Алексей Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии производства двигателей летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.